



EAST : Environnements d'Apprentissage Scientifiques et Techniques

Joanna Taoum, Ronan Querrec, Julien Saunier, Bernard Blandin

► To cite this version:

Joanna Taoum, Ronan Querrec, Julien Saunier, Bernard Blandin. EAST : Environnements d'Apprentissage Scientifiques et Techniques. Les journées de l'AFRV 2015., Oct 2015, Bordeaux, France. hal-01227345

HAL Id: hal-01227345

<https://hal.science/hal-01227345>

Submitted on 10 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EAST : Environnements d'Apprentissage Scientifiques et Techniques.

J. Taoum 1*
INSA Rouen et ENIB/CERV

R. Querrec 2*
ENIB/CERV

J. Saunier 3*
INSA Rouen

B. Blandin 4*
CESI

RESUME

Le projet EAST (Environnements d'apprentissage scientifiques et techniques), retenu par le ministère de l'éducation nationale dans le cadre du second volet e-éducation du programme national investissements d'avenir, ambitionne de redonner de l'intérêt aux jeunes pour les sciences et de revaloriser l'enseignement professionnel et technologique, grâce à un dispositif éducatif innovant: il vise à mettre au point une méthode de développement de scénarios d'apprentissage de concepts, de gestes ou de procédures techniques, greffés sur des environnements industriels en 3D qu'ils rendent interactifs. Ces scénarios peuvent être modifiés par les enseignants et les formateurs sans connaissance a priori du codage informatique. Les démonstrateurs développés concernent les énergies renouvelables (éoliennes, cogénération) pour des niveaux d'apprentissage allant du collège au cycle ingénieur.

Keywords: Réalité Virtuelle, Environnement Virtuel, Méta-modèle UML, Scénario Pédagogique, Interaction.

1 INTRODUCTION

Malgré le développement important de la production et de l'emploi de ressources numériques industrielles, celles-ci ne sont pas ou peu utilisées dans des contextes de formation. Un obstacle majeur pour cela est le manque d'outils génériques permettant de mettre en œuvre des contenus pédagogiques au sein de ces contenus. Le projet EAST (Environnements d'apprentissage scientifiques et techniques), vise la mise au point d'une méthodologie et d'outils d'aide à la conception de scénarios d'apprentissage d'activités en environnement virtuel. Cette méthodologie s'appuie d'une part sur l'utilisation d'environnements virtuels représentant des équipements ou des objets industriels dans lesquels, sur lesquels ou à travers lesquels s'opère l'activité pédagogique et d'autre part sur une analyse de l'activité ciblée par l'apprentissage. La problématique est ici celle de la description, d'une manière structurée, cohérente et interprétable par une machine, des objets de l'environnement virtuel, de leurs comportements, des comportements humains (exprimés par les interactions homme-machine) et des activités pédagogiques (scénarios, assistances...). L'objectif du projet est la conception et l'expérimentation à grande échelle de démonstrateurs. Le premier démonstrateur porte sur le domaine éolien. Dans un premier temps, l'objectif est l'acquisition d'un principe d'action au fondement de toutes les interventions de maintenance, la sécurité, via un environnement proposant une éolienne, son matériel, ainsi que les équipements et outils nécessaires aux interventions.

Ce projet est central pour le développement de l'e-éducation, car il vise à faciliter la production et la modification d'environnements d'apprentissage, de type «micro-mondes» ou simulateurs utilisant les techniques de la réalité virtuelle (RV), autorisant de nouvelles formes d'apprentissages orientés compétences, pour des publics scolaires comme professionnels.

La méthode de conception des situations d'apprentissage en RV vise à minimiser l'intervention d'un développeur en informatique et donne au formateur ou à l'expert métier le rôle principal dans la conception de ces situations. En effet, si les situations de formation en RV/RA (Réalité Augmentée) présentent un intérêt évident pour apprendre et développer des compétences, leur conception nécessite actuellement l'intervention de développeurs en informatique pour implémenter les comportements du domaine métier et les comportements pédagogiques. Or le développeur en informatique n'est ni un expert du domaine ni un expert en pédagogie, et néanmoins, ce sont, très souvent, ses choix d'implémentation qui s'imposent.

Dans la suite de cet article nous présentons dans un premier temps les travaux déjà menés dans le domaine puis nous présentons la démarche de F. Le Corre sur la description de scénarios pédagogiques. Enfin nous montrons comment nous avons déployé cette démarche dans le cadre du projet EAST.

2 MODELISATION DE SITUATION PEDAGOGIQUE EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL.

Redonner le rôle principal aux experts du domaine et au pédagogue suppose donc d'externaliser la définition des comportements métiers et pédagogiques. Ce principe a déjà été proposé par R. Querrec [1] et plus récemment dans la thèse de K. Carpentier [2]. Dans la suite de cette partie, nous présentons les travaux déjà menés.

2.1 Réalité Virtuelle pour la Formation

La formation en général et la formation aux systèmes techniques industriels en particulier est un des domaines d'application privilégié de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. L'intérêt de la réalité virtuelle dans ce domaine a déjà été évalué par plusieurs expérimentations [3] et [4]. Ces expérimentations donnent déjà quelques recommandations sur les assistances à apporter en cours de simulations et sur l'utilisation conjointe de la RV et la RA. D'autres expérimentations ont essayé d'évaluer l'impact des modes d'immersion (Desktop, CAVE, Casque de RV) et d'interactions (souris/clavier, bras à retour d'effort, Motion Capture) dans l'apprentissage [5]. Au-delà de la pertinence de la réalité virtuelle pour la formation, l'inconvénient des démarches de conception des environnements virtuels pour la formation est, comme soulevé précédemment, l'intervention incontournable des informaticiens lors de toutes les phases de réalisation. Cette démarche encore classique, impose à l'informaticien de comprendre le métier considéré (qui est un métier complexe dans le cas des systèmes techniques industriels) ce qui peut engendrer des mauvaises interprétations et approximations. Plus grave, c'est également l'informaticien qui conçoit les scénarios pédagogiques et qui induit de manière implicite sa propre représentation de la formation. Afin de contourner ce défaut, l'externalisation de ces expertises est une solution proposée. C'est-à-dire que les connaissances métier

1* taoum@enib.fr / joanna.taoum@insa-rouen.fr

2* querrec@enib.fr

3* julien.saunier@insa-rouen.fr

4* bblandin@cesi.fr

deviennent des données externes au programme informatique. Elles deviennent alors explicites lors de l'exécution du simulateur en RV/RA. On parle alors d'environnements virtuels informés (ou intelligents).

Les environnements virtuels informés ont été introduit à l'origine par Aylett [6] qui préconise l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle pour représenter de manière explicite les connaissances métiers dans l'environnement virtuel; ceci essentiellement dans le but de rendre autonome les agents virtuels. L'implémentation la plus connue de cette démarche est sans doute le principe de Smart Objects [7]. L'idée est d'adjoindre aux représentations 3D des objets, des scripts (en langage informatique) qui sont interprétés et accessibles en cours de simulation afin de raisonner sur la manière d'interagir avec les objets. Les travaux de Lugin et Cavazza [8] vont également dans ce sens. Depuis, plusieurs modèles ont été proposés tels que STORM [9]. Dans ce contexte, des travaux sur l'utilisation d'ontologies en utilisant OWL par exemple ou des techniques du « web sémantique » sont aussi menés [10].

D'autres types de travaux dans ce domaine proposent des approches intéressantes essentiellement sur les liens entre les éléments métiers et les concepts 3D de la réalité virtuelle [11] ou [12]. L'idée est alors d'explicitier les relations spatiales entre les objets et de garantir la validité de ces contraintes au fur et à mesure de la simulation, les agents autonomes raisonnant sur ces connaissances ou aidant l'utilisateur dans ses tâches de manipulation de l'environnement.

Concernant les tâches de l'utilisateur, des modèles permettant d'exprimer les activités à réaliser en environnement virtuel ont été proposés. Parmi ces propositions des langages s'appuient sur les langages classiquement utilisés en ergonomie pour décrire les activités humaines. C'est le cas par exemple de YALTA [13] et HAWAI-DL [14] qui s'appuient par exemple sur MAD.

L'inconvénient de ces modèles ou langages est que d'une part ils ne couvrent qu'une partie de la représentation du système et qu'il faudrait les composer (lorsqu'ils sont compatibles) afin d'en couvrir la totalité. De plus, en règle générale, la conception de ces langages a plus été guidée par la possibilité d'être interprétés par un ordinateur de manière automatique que par la capacité d'expression par un non informaticien. Dans notre cas ce qui nous intéresse c'est un langage qui non seulement permette de décrire les différents composants (structurels, statiques et dynamiques) d'un système par l'expert, mais que ce langage soit également directement exécutable par un ordinateur (surtout l'aspect dynamique du système) afin d'éviter l'intervention de l'informaticien. Ceci est un des verrous majeurs que ce projet se propose de résoudre.

2.2 Modélisation du Scénario Pédagogique (action de formation) et Opérationnalisation

Les méthodes formelles d'ingénierie ont été développées depuis la fin des années 1990. Les méthodes actuelles se répartissent aujourd'hui en deux groupes : 1) des méthodes de conception de l'action de formation ; 2) des méthodes d'opérationnalisation de l'action de formation, permettant la traduction en langage machine d'éléments définissant l'action de formation (actions, acteurs, ressources...).

Parmi les méthodes de conception de l'action de formation, nous pouvons citer MISA, LDL et ISiS. MISA (Méthode d'Ingénierie d'un Système d'Apprentissage) résulte des travaux du LICEF, le laboratoire de la Télé-Université du Québec (TELUQ). Elle se présente sous forme de documents formalisant quatre domaines (les connaissances à acquérir, la pédagogie, les médias et supports, la planification) pour chacune des cinq étapes (analyse du besoin et conception préliminaire, conception de l'architecture, conception des supports, réalisation des supports, préparation de la mise en

place) [15]. LDL (Learning Design Language) a été développé à l'Université de Savoie, en réaction aux plates-formes centrées sur la gestion de contenu, pour permettre de décrire et concevoir des situations d'apprentissage collaboratif. Une plateforme a été implémentée pour sa mise en œuvre [16]. Cette méthode est peu répandue aujourd'hui. ISiS (Intention, Strategy, interaction Situation) est une méthode qui a été développée au Laboratoire informatique de Grenoble (LIG) en liaison avec l'INRP, et expérimentée avec des enseignants [17]. Cette méthode fait suite aux travaux sur les situations actives d'apprentissage (SAA) réalisés dans le même laboratoire [18], et à un premier outil permettant de formaliser des scénarios, FORMID [19] qui en était issu. ISiS est accompagnée d'un éditeur, Scenedit, qui permet de gérer des banques de scénarios.

Nous entendons par méthodes d'opérationnalisation de l'action de formation les méthodes qui permettent la traduction en langage machine (en général XML) des éléments définissant l'action de formation (actions, acteurs, ressources...). Ces méthodes se résument aujourd'hui à deux grandes familles. D'un côté, l'Educational Modelling Language (EML) développé par Rob Koper et son équipe à l'Open Universiteit des Pays-Bas [20], puis sa version standardisée, largement répandue et instrumentée, IMS-Learning Design [21]. De l'autre, les approches développées au CERV, aboutissant à l'ensemble de modèles MASCARET – CHRYSOAR [22] qui sont adaptées à l'opérationnalisation d'environnements d'apprentissage de type « micro-monde », simulateur ou « jeux sérieux », dans la mesure où elles permettent de décrire des scénarios d'activité prenant en compte les interactions avec l'environnement et les objets qui le composent.

Ces deux groupes de méthodes sont complémentaires, et aujourd'hui, MISA comme ISiS sont opérationnalisées via IMS-LD. Mais, comme le faisait remarquer Tchounikine [23], IMS-LD est adaptée au développement de scénarios de type Formation ouverte et à distance (FOAD), qui débouchent sur des EIAH « orientés pédagogie ». Elle ne l'est pas pour les EIAH « supports aux environnements d'apprentissage » de type « micro-mondes » ou simulateurs, ou « jeux sérieux », qui sont ceux qui se développent le plus aujourd'hui, et qui offrent le plus de possibilités pour la création de nouvelles modalités d'apprentissage. Les ensembles MASCARET – CHRYSOAR, eux, le permettent, mais cette deuxième famille ne s'est pas préoccupée de formaliser les liens avec des méthodes de conception de l'action de formation, ni de rendre accessibles leurs modèles aux enseignants et aux formateurs. Ce n'est que récemment, dans le cadre du projet EAST, qu'ont été réunies la démarche ISiS pour la conception des actions de formation, et une opérationnalisation issue de MASCARET.

3 DEMARCHE DE CONCEPTION DE SITUATION PEDAGOGIQUE EN RV/RA

Le principe de la démarche proposée est d'externaliser les connaissances spécifiques sur le domaine d'apprentissage ainsi que les scénarios pédagogiques. Ces connaissances sont alors considérées comme des données qui sont produites par les différents intervenants dans la conception de la situation pédagogique.

Pour cela, nous proposons de définir un langage unifié qui permette de représenter deux aspects de la situation d'apprentissage : son contenu (le geste ou la procédure métier) et sa forme (le scénario pédagogique). Cela signifie que nous considérons un scénario pédagogique comme une procédure métier particulière, résultant de l'expertise d'un métier, celui de pédagogue. De ce fait, les deux modèles peuvent alors partager le même langage de description et être donc considéré comme deux instances d'un même méta-modèle. Le langage choisi pour produire ces données est UML car il est suffisamment formalisé pour pouvoir être interprété de

manière automatique par l'ordinateur (MASCARET est un interpréteur UML dans un contexte de réalité virtuelle) et il est également graphique ce qui le rend accessible aux non informaticiens.

Classiquement, un scénario pédagogique est composé d'objectifs pédagogiques, de conditions préalables (pré-requis), d'une organisation pédagogique (rôles), d'activités pédagogiques et d'un environnement virtuel [20]. Ainsi nous proposons un modèle formel de scénario pédagogique comme une extension UML. Une organisation pédagogique est considérée comme une collaboration composée de rôles. Un rôle est le concept d'interface UML. Cela signifie qu'un rôle représente un ensemble de services sans fournir effectivement une implémentation. L'agent (artificiel ou humain) qui jouera ce rôle va proposer sa propre implémentation. Dans cette organisation pédagogique, le rôle participe au scénario pédagogique. Un scénario pédagogique est représenté par une activité qui agence les actions pédagogiques modifiant l'environnement virtuel (composé du système et des ressources pédagogiques).

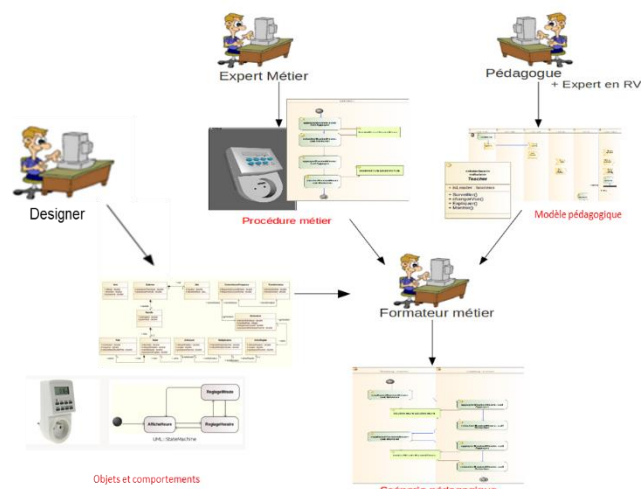


Figure 1 : Flot de conception des scénarios pédagogiques

La Figure 1 présente les quatre rôles intervenants dans la conception de la situation pédagogique.

- Le « Pédagogue expert en Réalité virtuelle » qui définit les actions pédagogiques que l'on peut utiliser pour guider ou corriger l'apprenant dans un environnement en réalité virtuelle ainsi que les « formes d'agir pédagogique » (séquences types d'actions / réactions ou d'interactions avec les objets) mobilisables. Ces actions sont génériques. Elles sont indépendantes de la plateforme d'exécution, du domaine métier et des stratégies pédagogiques. Par contre elles sont dépendantes du type de formation (dans le cas du projet EAST la formation à l'aide de simulations interactives)
- L'« Expert-métier », qui connaît l'activité qui fait l'objet de l'apprentissage et formalise la suite d'actions et d'interactions avec les objets qui la constitue, ainsi que les « bonnes pratiques » (procédures) qui devront être acquises par l'apprenant dans l'environnement d'apprentissage. Il déclare également les comportements et les opérations réalisables par les objets. Cette déclaration sert de support à la définition des procédures. La déclaration en elle-même est indépendante de la plateforme d'exécution, mais

l'implémentation doit être réalisée par le « Designer » pour une plateforme particulière.

- Le « Designer », qui conçoit l'environnement d'apprentissage, les objets 3D qu'il contient, leurs comportements, à partir de sources diverses : documents numériques industriels, photos, bibliothèques de comportements... Il est aussi celui qui permet l'exécution de l'environnement d'apprentissage en « instanciant » les objets avec des géométries et des routines permettant l'exécution des comportements, ainsi que les rôles avec les acteurs réels qui vont intervenir.
- Le « Formateur-métier » qui définit les scénarios pédagogiques (ensemble ordonné de situations dans lesquelles l'apprenant va mener des actions et des interactions avec les objets de l'environnement), ainsi que les actions pédagogiques qui seront menées sous contrôle du système pour guider ou corriger les actions de l'apprenant. Pour définir ses scénarios pédagogiques, le formateur-métier s'appuie sur :
 - l'environnement et les objets existants dans celui-ci (créés par le Designer),
 - les actions possibles de l'apprenant sur les objets et les procédures (créés par l'Expert-métier),
 - les modèles, les « formes d'agir pédagogique » et les actions pédagogiques de base qui en découlent (créés par le Pédagogue expert en RV).

A priori, chacun de ces rôles est distinct, mais peut être associé à la même personne (par exemple « expert métier » et « formateur métier »).

Le modèle défini par les différents rôles est exporté de l'éditeur UML en un fichier XMI (XML normalisé par l'OMG). Le fichier XMI est importé et interprété par le module MASCARET au sein d'une plateforme de réalité virtuelle.

Les données produites par l'expert métier et le formateur métier sont naturellement dépendantes du domaine de formation, et nous montrons dans la section suivante un exemple dans le cadre du projet EAST. Les données produites par le pédagogue sont indépendantes du domaine. Elles sont donc rédigées une fois pour toute dans une bibliothèque réutilisable. Le fait d'utiliser le même langage que pour produire des données métiers (UML) permet de rendre cette bibliothèque modifiable et extensible. Nous proposons donc une première version d'une telle bibliothèque contenant des actions pédagogiques de différents types:

- Actions pédagogiques sur l'environnement virtuel (*mettre en évidence un objet, jouer une animation ...*)
- Actions pédagogiques sur les interactions de l'utilisateur (*changer de point de vue, bloquer une position ...*)
- Actions pédagogiques sur la structure du système (*décrire la structure, afficher la documentation sur une entité ...*)
- Actions pédagogiques sur la dynamique du système (*expliquer les objectifs d'une procédure, expliquer une action, ...*)
- Actions pédagogiques sur le scénario pédagogique (*afficher une ressource pédagogique, expliciter les objectifs de réalisation, ...*)

4 APPLICATION AU PROJET EAST

Afin d'appliquer cette démarche de conception de scénarios pédagogiques au projet EAST, l'expert métier doit définir le modèle définissant la structure du système (éolienne) ainsi que les activités (procédures) des techniciens sur ce système.

4.1 Modèle Métier

4.1.1 Structure

La Figure 2 montre le diagramme de classe principal définissant la structure de l'éolienne.

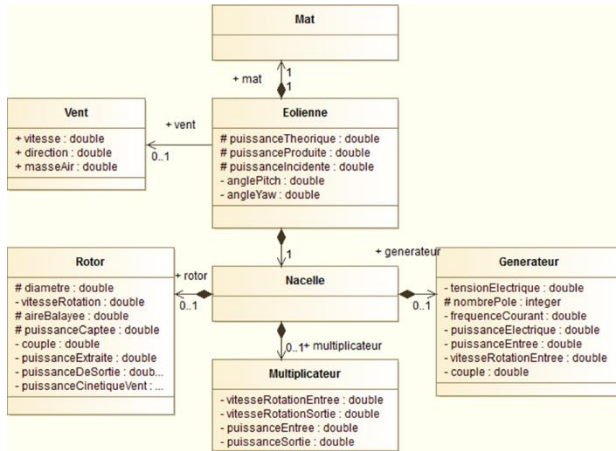


Figure 2 : Structure de l'éolienne.

La sous-partie intéressante de ce système se trouve dans la nacelle contenant les éléments de transformation (rotor, multiplicateur, générateur...) de l'énergie du vent. Le vent, considéré ici sous forme d'une entité ayant comme propriétés une vitesse et une direction, est capté par des pales qui font tourner le rotor (vitesse/couple). Cette force est transmise au multiplicateur par un arbre lent. Celui la transmet au générateur électrique via un arbre rapide. Le fonctionnement global du système est défini à partir de spécifications fournies par les constructeurs.

Toutes les classes et les attributs sont documentés (champ description en UML). Cette documentation peut être utilisée pour générer la documentation générale ou comme source d'information pour les actions pédagogiques. Certains attributs sont également « spécialisés » (stéréotype UML) en données d'entrées ou de sorties. Une implémentation du méta-modèle SysML est en cours pour être plus proche de la modélisation de ce type de système. C'est sur ces stéréotypes et sur le principe de composition, que les actions pédagogiques de type *expliquerSystème* s'appuient pour être génériques.

4.1.2 Procédures

Dans cette section nous présentons quelques procédures réalisées dans le projet EAST. Plusieurs procédures ont été implémentées, l'une en maintenance et l'autre en sécurité dans des scénarios autour de l'éolienne.

L'objectif du scenario maintenance est de vérifier l'usure des engrenages du multiplicateur de l'éolienne par deux techniciens de maintenance. Le scenario de sécurité a pour objectif de découvrir les principes de sécurité de travail en hauteur via une métaphore d'interaction permettant la montée d'une échelle par le technicien de maintenance d'une manière sécurisée.

Toutes ces procédures sont modélisées par des diagrammes d'activité en UML qui sont définis dans le cadre d'une collaboration (équipe) en UML. Ces procédures peuvent être collaboratives, c'est-à-dire faire intervenir plusieurs rôles (partition en UML) et plusieurs ressource. Il est à noter que l'expert métier définit les rôles et les ressources sans considérer dans un premier temps les agents ou entité de l'environnement qui joueront effectivement ces rôles. Cette affectation se fait lors de l'exécution. Les procédures (activités UML) sont des agencements d'actions. Le langage UML est suffisamment riche (séquence, parallélisme, conditions, boucle, événement...) pour définir des procédures

complexes. Les procédures peuvent être hiérarchiques, c'est-à-dire qu'une action de la procédure est l'appel d'une autre procédure. Les agents utilisant MASCARET comme une base de connaissance ont un comportement générique qui permet d'interpréter ces procédures de manière à les exécuter de manière automatique, de surveiller la réalisation d'une procédure par un utilisateur humain ou même de raisonner sur la procédure.

Dans le cas de la procédure de sécurité, les actions du technicien sont implémentées essentiellement par des animations. Les animations sont jouées par l'utilisation d'une primitive spécifique dans MASCARET (*playAnimation*), qui appelle l'animation spécifiée lors de la réalisation d'une action. Ces actions sont exécutées automatiquement sans recours aux informaticiens/designers.

4.2 Scénario Pédagogique

Trois familles de scénario, modifiables par le formateur métier, sont disponibles dans le démonstrateur « éolienne » : présentation de l'éolienne, sécurité, et maintenance. Nous présentons les deux premières dans la suite.

4.2.1 Scénario de présentation de l'éolienne.

L'objectif de ce scénario est de présenter la chaîne de transformation d'énergie du vent en électricité. Il utilise les actions pédagogiques pour présenter la structure du système, mise en transparence d'éléments ou modification des propriétés d'un



Figure 3 : Modification de valeurs de propriétés dans un scénario pédagogique.

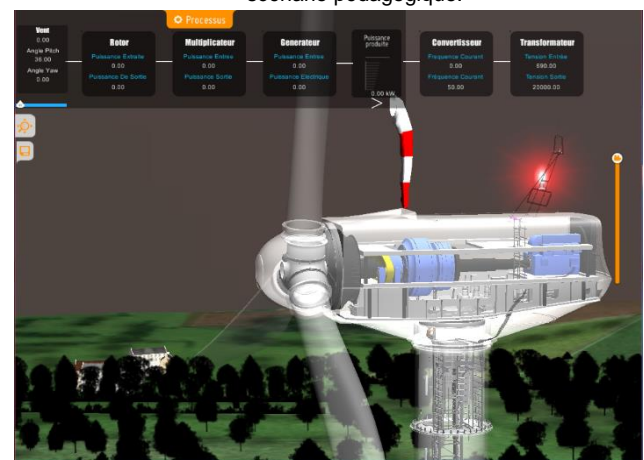


Figure 4 : Visualisation de la structure du système dans un scénario pédagogique.

élément du système. La Figure 3 et Figure 4 montrent des exemples de réalisation de ce scénario pédagogique.

4.2.2 Scénario Sécurité

L'objectif de ce scénario est d'apprendre à monter une échelle et se déplacer dans l'éolienne en sécurité grâce à une métaphore.

Nous proposons de vérifier que le technicien de maintenance agit en sécurité durant chaque mouvement effectué, en contrôlant qu'il garde toujours trois points d'appui, comme le stipulent les règles de sécurité. De plus le scénario impose au technicien de suivre un ordre spécifique pour bouger ses pieds et ses mains en montant l'échelle. Le mode d'interaction choisi dépend du dispositif de réalité virtuelle. Il a été déployé sur un PC classique avec écran et clavier, un CAVE avec 4 écrans stéréo et motion capture et avec un Oculus Rift et manette de jeu. Dans tous les cas, l'idée du mode d'interaction est de garder le principe de latéralité (une interaction spécifique pour les mouvements à gauche/droite/haut/bas du corps).

La Figure 5 représente un extrait de la procédure de sécurité avec deux partitions (deux rôles joués en parallèle : le formateur et l'apprenant).

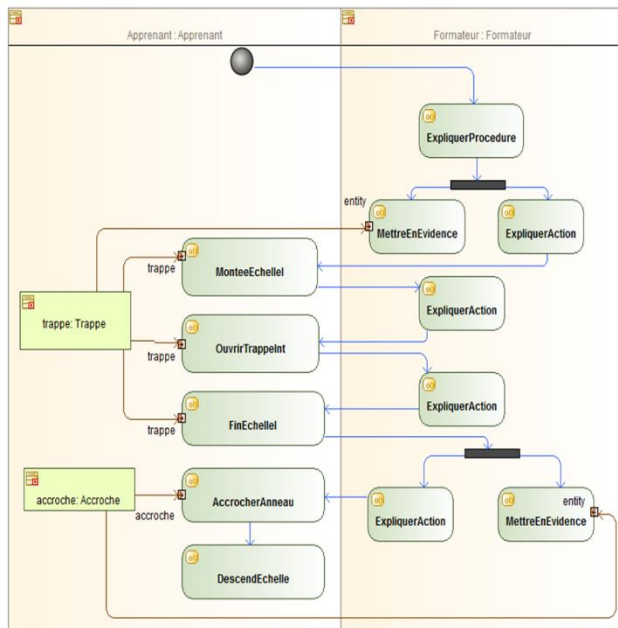


Figure 5 : Extrait de la procédure pédagogique de sécurité.

Le principe afin d'apprendre une procédure est de répéter son exécution jusqu'à l'acquisition (transfert en mémoire à long terme) de cette procédure. Cependant les assistances pédagogiques proposées à l'apprenant ne sont pas les mêmes lors du premier essai



Figure 7 : Scénario pédagogique sans assistances pédagogiques.

ou lors du dernier essai. Nous prenons ici l'exemple du scénario pédagogique lors du premier essai. Figure 6

La première action du scénario pédagogique explique l'objectif de la procédure pour que l'apprenant sache ici qu'il doit arriver dans la nacelle de l'éolienne en sécurité tout en gardant toujours trois points d'appui lors des montées d'échelle et une « ligne de vie » qui l'attache à un équipement de sécurité (*runner*) à tout moment, pour éviter un accident en cas de faux mouvement, (être accroché au *runner* durant la montée de l'échelle principale, s'accrocher à un anneau de sécurité durant la fermeture de la trappe intérieure ...).

Les actions pédagogiques d'explication sont en général réalisées par l'intervention des sons à travers un plugin dans MASCARET qui converti un texte en voix (Text-to-Speech) à partir des informations données dans le modèle UML à travers une description pour chaque scénario, chaque action, chaque élément. Ensuite deux actions pédagogiques sont exécutées en parallèle. La première explique l'action qui doit être réalisée, (par exemple le technicien doit monter jusqu'à la trappe) et la seconde *MettreEnEvidence* change la couleur de la trappe en rouge pour que le technicien sache qu'il s'agit de l'objet de la prochaine action à exécuter. Ensuite l'action métier *MonteeEchelle* commence. En terme d'interaction, les animations ont été découpées afin d'avoir une animation séparée pour chaque mouvement de pieds et de mains. Ceci permet à l'agent pédagogique de vérifier à chaque instant le nombre d'appui du technicien. Dans l'action suivante, *OuvrirTrappeInt* le technicien est censé ouvrir la trappe intérieure. Cette action se lance par l'envoi d'un signal à la trappe en cliquant dessus. Dans l'action *FinEchelle* le technicien continue l'escalade de l'échelle jusqu'à ce qu'il arrive à la fin de l'échelle où son mouvement sera bloqué et en l'informant de l'arrivée à la fin de l'échelle, en respectant toujours le même principe d'ascension. Lors de la réalisation de l'action *AccrocherAnneau*, le technicien doit s'accrocher à un autre équipement de sécurité, un anneau, afin de descendre de l'échelle en sécurité, la trappe étant ouverte. L'exécution de cette action se manifeste après avoir cliqué sur l'anneau. Ce n'est que lorsque les lignes de vie sont accrochées à l'anneau, que le technicien peut descendre de l'échelle en sécurité. La Figure 6 montre un exemple de la réalisation du scénario pédagogique de sécurité avec la trappe mise en évidence.

Le formateur métier peut adapter ce scénario au niveau de l'apprenant ou à des objectifs particuliers. La mise en évidence des objets, par exemple, n'a d'intérêt que lors des premières découvertes de l'environnement, tandis que les explications peuvent être approfondies sur différents objets de l'environnement lors de session plus spécifiques.



Figure 6 : Réalisation du scénario pédagogique de sécurité avec la trappe en rouge.

5 CONCLUSION

L'objectif de ce travail est de redonner le rôle principal aux experts du domaine et aux pédagogues lors de la conception d'environnements virtuels pour la formation. Ceci suppose donc d'externaliser la conception des modèles métiers et pédagogiques. Le principe que nous avons proposé ici, est d'utiliser le langage UML pour concevoir ces modèles. Le moteur qui simule l'environnement virtuel est alors fondé sur un méta-modèle qui est lui-même une extension d'UML pour la réalité virtuelle et la formation.

C'est cette démarche qui a été adoptée dans le projet EAST qui ambitionne de redonner de l'intérêt aux jeunes pour les sciences et de revaloriser l'enseignement professionnel et technologique, grâce à un dispositif éducatif innovant. Dans cet article nous avons présenté une partie des démonstrateurs développés dans le cadre de ce projet, d'autres scénarios (simulateur et maintenance pour l'éolienne, simulateur pour la centrale thermique avec cogénération...) ont également été développés ou sont en cours de développement. En particulier, nous mettons en place des possibilités de coopération entre apprenant et personnage virtuel, afin à la fois de réaliser les gestes métiers collaboratifs et que le personnage virtuel puisse être le vecteur d'actions pédagogiques.

Des expérimentations auprès des utilisateurs sont en cours afin de valider que les simulateurs produits par cette démarche sont réellement pertinents pour l'apprentissage. Actuellement, plus de 1000 apprenants ont déjà utilisé le simulateur éolien). Une perspective de ce projet sera de valider l'apport de cette méthodologie aux formateurs lors de la phase de conception des situations pédagogiques utilisant la RV/RA.

Le travail présenté dans cet article s'est focalisé sur le modèle de représentation et de simulation des modèles métiers et pédagogiques. Il est ainsi possible de concevoir des actions métiers ou des actions pédagogiques génériques. Une seconde perspective envisagée dans le cadre de ce projet est la formalisation des interactions naturelles en RV dans un but pédagogique.

REFERENCES

- [1] R. Querrec, «Apprentissage de procédures en environnement virtuel,» Note pour l'Habilitation à Diriger des Recherches en Informatique, Université de Bretagne Occidentale., 2011.
- [2] K. Carpentier, «Scénarisation personnalisée dynamique dans les environnements virtuels pour la formation,» Thèse de doctorat en Technologies de l'information et des Systèmes de l'Université de Technologie de Compiègne., 2015.
- [3] N. Gavish, T. Gutierrez, S. Webel, J. Rodriguez et F. Tecchia, «Design Guidelines for the Development of Virtual Reality and Augmented Reality Training Systems for Maintenance and Assembly Tasks,» chez *BIO Web of Conferences* 1 00029, 2011a.
- [4] N. Gavish, T. Gutierrez, S. Webel, J. Rodriguez, M. Peveri et U. Bockholt, «Transfer of Skills Evaluation for Assembly and Maintenance Training,» chez *BIO Web of Conferences* 1 00028, 2011b.
- [5] A. Boud, C. Baber et S. Steiner, «A tool for assembly? Presence 9(5),» chez *Virtual Reality*, 2000, pp. pp. 486 - 496.
- [6] M. Luck et R. Aylett, «Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent Virtual Environments,» *Applied Artificial Intelligence*, vol. 14, pp. pp. 3 - 34, 2000.
- [7] M. Kallmann et D. Thalmann, «Direct 3D interaction with smart objects,» chez *VRST '99 Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, 1999.
- [8] M. Cavazza et J.-L. Lugin, «AI-based world behaviour for emergent narratives,» chez *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, Hollywood, California., 2006.
- [9] N. Mollet, «De l'objet-Relation au Construire en Faisant : application à la spécification de scénarios de formation à la maintenance en réalité virtuelle,» thèse de doctorat., 2005.
- [10] J. Flotyński et K. Walczak, «Conceptual knowledge-based modeling of interactive 3D content,» *The Visual Computer*, vol. 31, n° %110, pp. pp 1287-1306, 2014.
- [11] O. De Troyer, W. Bille, R. Romero et P. Stuer, «On generating virtual worlds from domain ontologies. In MMM,» p. pp 279–294, 2003.
- [12] T. Trinh , R. Querrec, P. De Loo et P. Chevaillier, «Ensuring semantic spatial constraints in virtual environments using Uml/Ocl,» chez *VRST 2010, Proceedings of the 2010 ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Hong Kong, Chine., 2010.
- [13] J. Burkhardt, D. Lourdeaux, S. Couix et M. Rouillé, «La modélisation de l'activité humaine finalisée. In Le traité de la réalité virtuelle,» *L'humain virtuel. Les Presses-Mines Paris*, vol. 5, p. 2009.
- [14] K. Amokrane, «Suivi de l'apprenant en environnement virtuel pour la formation à la prévention des risques sur des sites SEVESO,» Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne., 2010.
- [15] G. Paquette, «L'ingénierie du télé-apprentissage, pour construire l'apprentissage en réseaux,» *Presses de l'Université du Québec*, 2002a.
- [16] C. Martel, L. Vignollet, C. Ferraris et G. Durand, «LDL: a Language to Model Collaborative Learning Activities,» chez *In E. Pearson & P. Bohman (Eds.), Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, 2006.
- [17] V. Emin, J.-P. Pernin et V. Guéraud, «Scénarisation pédagogique dirigée par les intentions,» *Revue STICEF*, vol. 18, 2011.
- [18] V. Guéraud, «Une approche auteur pour les scénarios d'activités, in Actes du colloque Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien,» INRP – Lyon., 2006.
- [19] V. Guéraud, J.-M. Adam, J.-P. Pernin, G. Calvary et J.-P. David, «L'exploitation d'Objets pédagogiques Interactifs à distance: le projet FORMID,» *STICEF*, vol. 11, 2004.
- [20] R. Koper, «Modeling units of study from a pedagogical perspective: the pedagogical meta-model behind EML,» 2001.

- [21] R. Koper et C. Tattersall, «Learning Design: A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training.,» Springer Verlag, Berlin., 2005.
- [22] R. 2. Querrec, N. 2. Marion et F. 2. Le Corre, «CHRYSAOR : un système tutoriel intelligent pour les environnements virtuels d'apprentissage humain. Application à la formation au matériel de laboratoire en hémotase.,» Thèse de doctorat en informatique de l'Université de Bretagne Occidentale..
- [23] P. Tchounikine, «Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain.,» *I3 information – interaction – intelligence*, 2(1), 2002.